

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-284261

(43)Date of publication of application : 15.10.1999

(51)Int.Cl. H01S 3/10

(21)Application number : 10-081178

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 27.03.1998

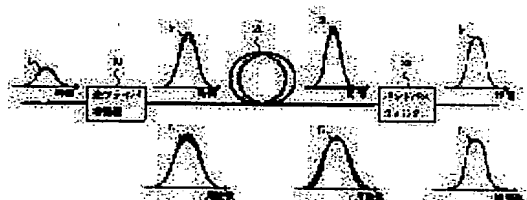
(72)Inventor : YUBE MASAO  
HIRANO AKIRA  
SATO NORIFUMI  
YAMABAYASHI YOSHIAKI  
HAGIMOTO KAZUO

## (54) LOW NOISE OPTICAL AMPLIFIER

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress the noise component occurring at an optical fiber amplifier with a simple configuration.

SOLUTION: An abnormal dispersion optical fiber 21 and a band pass filter 22 are provided at a post stage of an optical fiber amplifier 10, and the length of the abnormal dispersion optical fiber 21 is so controlled as to be longer than soliton cycle while the incidence peak power of the abnormal dispersion optical fiber larger than basic soliton power while equal to twice the basic soliton power or less. Soliton cycle  $Z_0$  (m) and basic soliton power  $P_0$  (W) is given in  $Z_0 = \pi^2 C T_0^2 / (\lambda^2 D)$ ,  $P_0 = \lambda^3 A_{eff} D / (4\pi^2 C n_2 T_0^2)$ , where wavelength dispersion value of abnormal dispersion optical fiber is  $D$  (s/m<sup>2</sup>), effective core sectional area is  $A_{eff}$  (m<sup>2</sup>), non-linear refractive index is  $n_2$  (m<sup>2</sup>/W), pulse width of light pulse signal is  $T_0$  (sec), wavelength is  $\lambda$  (m), light speed is  $C$  (m/sec).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 04.03.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

BEST AVAILABLE COPY

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-284261

(43) 公開日 平成11年(1999)10月15日

(51) Int.Cl.<sup>°</sup>

H 0 1 S 3/10

識別記号

F I

H 0 1 S 3/10

Z

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平10-81178

(22) 出願日 平成10年(1998)3月27日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 遊部 雅生

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 平野 章

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 佐藤 憲史

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 古谷 史旺

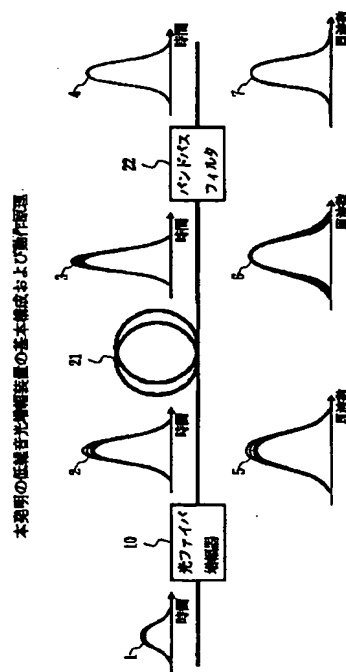
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低雑音光増幅装置

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバ増幅器で発生する雑音成分を簡単な構成で抑圧する。

【解決手段】 光ファイバ増幅器10の後段に異常分散光ファイバ21とバンドパスフィルタ22とを備え、異常分散光ファイバ21の長さをソリトン周期よりも長くし、異常分散光ファイバの入射ピークパワーが基本ソリトンパワーより大きくかつ基本ソリトンパワーの2倍以下になるように制御する。ソリトン周期 $Z_0$  (m)および基本ソリトンパワー $P_0$  (W)は、異常分散光ファイバの波長分散値を $D$  ( $s/m^2$ )、有効コア断面積を $A_{eff}$  ( $m^2$ )、非線形屈折率を $n_2$  ( $m^2/W$ )、光パルス信号のパルス幅を $T_0$  (sec)、波長を $\lambda$  (m)、光速を $C$  (m/sec)としたときに、 $Z_0 = \pi^2 C T_0^2 / (\lambda^2 D)$ 、 $P_0 = \lambda^3 A_{eff} D / (4 \pi^2 C n_2 T_0^2)$ で与えられる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 希土類添加光ファイバを用いて光パルス信号を増幅する光ファイバ増幅器と、

前記光ファイバ増幅器に接続され、ファイバ長がソリトン周期よりも長く異常分散を有する異常分散光ファイバと、

前記異常分散光ファイバに接続され、前記光パルス信号の中心波長を含む所定の透過帯域を有するバンドパスフィルタと、

前記異常分散光ファイバに入射する光パルス信号の入射ピークパワーが、前記異常分散光ファイバにおける基本ソリトンパワーより大きくかつ基本ソリトンパワーの 2 倍以下になるように制御する光パワー制御手段とを備え、

前記ソリトン周期  $Z_0$  (m) および基本ソリトンパワー  $P_0$  (W) は、前記異常分散光ファイバの波長分散値を  $D$  ( $s/m^2$ )、有効コア断面積を  $A_{eff}$  ( $m^2$ )、非線形屈折率を  $n_2$  ( $m^2/W$ )、光パルス信号のパルス幅 ( $1/e$  半値の時間幅) を  $T_0$  (sec)、波長を  $\lambda$  (m)、光速を  $C$  (m/sec) としたときに、

$$Z_0 = \pi^2 C T_0^2 / (\lambda^2 D)$$

$$P_0 = \lambda^3 A_{eff} D / (4 \pi^2 C n_2 T_0^2)$$

で与えられることを特徴とする低雑音光増幅装置。

【請求項 2】 光パワー制御手段は、光ファイバ増幅器の出力光パルス信号、または異常分散光ファイバの出力光パルス信号、またはバンドパスフィルタの出力光パルス信号の光パワーをモニタし、前記異常分散光ファイバに入射する光パルス信号の入射ピークパワーを制御する構成であることを特徴とする請求項 1 に記載の低雑音光増幅装置。

【請求項 3】 光パワー制御手段は、光ファイバ増幅器の励起パルス光パワーを制御し、光ファイバ増幅器の利得を調整する構成であることを特徴とする請求項 2 に記載の低雑音光増幅装置。

【請求項 4】 光パワー制御手段は、光ファイバ増幅器の出力光パルス信号の光パワーを制御する光増幅器または光減衰器を含む構成であることを特徴とする請求項 2 に記載の低雑音光増幅装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、エルビウムやプラセオジウム等の希土類を添加した光ファイバを用いて光パルス信号を増幅する光ファイバ増幅器の雑音低減を図った低雑音光増幅装置に関する。なお、光ファイバ増幅器は、光通信システムにおいて、光送信器のポストアンプ、光中継器のインラインアンプ、光受信器のプリアンプ等に用いられている。

## 【0002】

【従来の技術】 光ファイバ増幅器の出力には、増幅された信号光と、広いスペクトル幅で増幅された自然放出光

(ASE 光) が混在する。ASE 光は、光ファイバ増幅器内でランダムに発生して信号光と干渉するために、増幅された信号光の  $S/N$  比を劣化させる。

【0003】 この ASE 光の影響を低減するために、バンドパスフィルタを用いて信号帯域外の ASE 光を除去する方法がある。しかし、信号帯域内の ASE 光を除去することはできないので、複数の中継器を用いた場合に ASE 光の蓄積による  $S/N$  比の劣化が大きくなり、伝送距離を成分する要因の 1 つになっている。また、プリアンプにおける信号光-ASE 光間のビート雑音は、光受信器の受信感度を決定する大きな要因になっている。さらに、光送信器の信号レベルに雑音がある場合にも同様に受信感度の劣化をもたらす。

【0004】 このような  $S/N$  比の劣化を改善するには、光信号を電気信号に変換して識別再生し、再度光信号に変換する方法が有効であるが、一般に高価で複雑な構成になってしまう。そこで、光信号を光信号のまま識別再生する方法が検討されている。その代表例として、非線形ループミラーなどの光制御光スイッチを用いて光識別再生する方法が知られている。

【0005】 図 7 は、従来の光識別再生回路の構成例を示す。雑音により劣化した入力光パルス信号 71 は、光カプラ 72 を介してその一部がクロック抽出回路 73 に入力され、クロック成分が抽出される。クロックパルス光源 74 は、この抽出クロックに同期した雑音成分のないクロック光パルス 75 を生成する。光制御光スイッチ 76 は、入力光パルス信号 71 とクロック光パルス 75 を入力し、入力光パルス信号 71 をゲート光としてクロック光パルス 75 を打ち抜くことにより、雑音が低減された再生光パルス信号 77 を出力する。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、従来の光識別再生回路は、クロック抽出回路 73 およびクロックパルス光源 74 とともに、入力光パルス信号 71 とクロック光パルス 75 のタイミングを合わせる手段が必要であり、構成が複雑であった。また、光制御光スイッチ 76 では、通常ゲート光 (入力光パルス信号 71) とスイッチを通過する光 (クロック光パルス 75) の波長が異なるので、従来の光識別再生回路は雑音低減の処理を行うたびに入力と出力の波長が変化してしまう問題があった。なお、これについては同様の処理を 2 回行うことにより元の波長に変換しなおす方法もあるが、装置構成がさらに複雑になる。

【0007】 本発明は、光ファイバ増幅器で発生する雑音成分を簡単な構成で抑圧することができる低雑音光増幅装置を提供することを目的とする。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】 図 1 は、本発明の低雑音光増幅装置の基本構成を示す。本発明の低雑音光増幅装置は、光ファイバ増幅器 10 の後段に異常分散光ファイ

バ21とバンドパスフィルタ22とを備え、異常分散光ファイバ21の長さおよび入射ピークパワーを下記のように設定することを特徴とする。これにより、入力光パルス信号の強度揺らぎや、信号光-ASE光間のビート雑音を低減することができる。以下、その原理について説明する。

【0009】図1において、符号1~4は光パルス信号の時間波形、符号5~7は光パルス信号2~4に対応するスペクトル波形を示す。強度雑音成分をもった入力光パルス信号1は、光ファイバ増幅器10で強度雑音成分を含んだまま増幅されて光パルス信号2となる。なお、光パルス信号1の強度雑音成分が小さい場合でも、光ファイバ増幅器10への入射パワーが小さい場合には、光ファイバ増幅器10で信号光-ASE光間のビート雑音が付加されるので同様の状態となる。

【0010】この強度雑音成分を含む光パルス信号2を異常分散光ファイバ21に入射する際に、その入射ピークパワーを基本ソリトンパワーより大きくかつ基本ソリトンパワーの2倍以下に制御する。ここで、基本ソリトンパワー $P_0$  (W)は、異常分散光ファイバ21の波長分散値を $D$  ( $s/m^2$ )、有効コア断面積を $A_{eff}$  ( $m^2$ )、非線形屈折率を $n_2$  ( $m^2/W$ )、信号光のパルス幅 ( $1/e$  半値の時間幅) を $T_0$  (sec)、信号光の波長を $\lambda$  (m)、光速を $C$  (m/sec)とすると、
$$P_0 = \lambda^3 A_{eff} D / (4\pi^2 C n_2 T_0^2)$$
で与えられる。

【0011】また、異常分散光ファイバ21のファイバ長は、ソリトン周期 $Z_0$ より長くなるように設定する。ここで、ソリトン周期 $Z_0$  (m)は、
$$Z_0 = \pi^2 C T_0^2 / (\lambda^2 D)$$
で与えられる。

【0012】このようなソリトン周期 $Z_0$ よりも長い異常分散光ファイバ21にピークパワー $P_0$ の光パルス信号を入射すると、光ファイバの非線形効果である自己位相変調によるチャージングと分散によるチャージングが逆方向になるので、両者が打ち消しあって基本ソリトンが発生する。本発明では、基本ソリトンパワー $P_0$ よりも大きなピークパワーの光パルス信号2を入射するので、自己位相変調によるチャージングの効果の方が大きくなり、光パルス信号2はパルス圧縮されて光パルス信号3となるとともに、スペクトル波形6のようなスペクトル広がりを生じる。

【0013】図2は、強度揺らぎがある光パルス信号を異常分散光ファイバに入射した場合の光パルススペクトルの変化を計算した例を示す。ここでは、入力光パルス信号に±10%の強度変動があるとし、異常分散光ファイバのファイバ長を $1.3Z_0$ 、入射ピークパワーを約 $1.6P_0$ とした。図からも分かるように、入力光パルス信号の強度揺らぎは自己位相変調によりスペクトル広がり

ンパワーに近いためにスペクトルの中心部分は基本ソリトンに近い形に収束する。したがって、図1に示すバンドパスフィルタ22の透過帯域をこのスペクトルの中心部分に設定することにより、光パルス信号4およびそのスペクトル7に示すように強度揺らぎ成分(雑音)を取り除くことができる。

【0014】本発明の低雑音光増幅装置は、このような簡単な構成により、光ファイバ増幅器で増幅される光パルス信号の強度揺らぎや信号光-ASE光間のビート雑音を低減することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】図3は、本発明の低雑音光増幅装置の実施形態を示す。光ファイバ増幅器10は、エルビウム添加光ファイバ11と、励起パルス光を発生する励起レーザ12と、入力信号光と励起パルス光を合波してエルビウム添加光ファイバ11に入射する光合波器13と、入出力端に配置される光アイソレータ14-1、14-2とにより構成される。光ファイバ増幅器10には、光カプラ23を介して、ファイバ長がソリトン周期 $Z_0$ より長い異常分散光ファイバ21が接続され、さらにバンドパスフィルタ(BPF)22が接続される。

【0016】異常分散光ファイバ21に入射する光パルス信号の入射ピークパワーを制御する光パワー制御手段は、本実施形態では、光カプラ23で分岐された光パルス信号パワーを測定する光検出器24と、その光パルス信号パワーに応じて励起レーザ12を制御し、光ファイバ増幅器10の利得を調整する励起レーザ制御回路25により構成される。

【0017】以下、本実施形態の動作例について説明する。光ファイバ増幅器10に入力された光パルス信号は、光アイソレータ14-1、光合波器13を介して、励起レーザ12から出力される励起パルス光と合波してエルビウム添加光ファイバ11に入力される。エルビウム添加光ファイバ11で増幅された光パルス信号は光アイソレータ14-2を介して出力され、その一部は光カプラ23で分岐して光検出器24に入力され、光パルス信号パワーが測定される。励起レーザ制御回路25は、この測定結果に応じて励起レーザ12への注入電流を制御して光ファイバ増幅器10の利得を調整し、異常分散光ファイバ21に入射する光パルス信号の入射ピークパワーが基本ソリトンパワー $P_0$ より大きくかつ $2P_0$ 以下になるように制御する。

【0018】本実施形態の動作を確認する実験では、入力光パルス信号として、繰り返し周波数20GHz、パルス幅2.4ps(半値全幅4ps)、波長1557nm、マーク率1/2の疑似ランダム信号で変調された光パルス列を用いた。異常分散光ファイバ21には、有効コア断面積 $21\mu m^2$ 、波長分散値 $+3.15ps/km/nm$ ( $=+3.15 \times 10^{-6}s/m^2$ )、ファイバ長2.9kmの石英ファイバを用いた。

【0019】このとき、ソリトン周期 $Z_0$ は2.24kmと計算されるので、異常分散光ファイバ21のファイバ長は約 $1.3Z_0$ に相当する。また、基本ソリトンパワー $P_0$ は111mWと計算されるので、異常分散光ファイバ21への入射ピークパワーを約 $1.6P_0$ に相当する180mWになるように制御する。なお、この光パルス信号の平均パワーは、光ファイバ増幅器10によるASE光の付加が無視できる場合に7.2mWとなり、現在市販されているもので容易に実現可能である。また、バンドパスフィルタ22として透過帯域の半値全幅が1nmのものを

用いた。  
【0020】ここで、本実施形態の低雑音光増幅装置の動作について、サンプリングオシロスコープで観測した結果を図4に示す。入力する光パルス信号は、意図的に符号間干渉を与えて強度雑音を付加したものである。図4(1)は、光ファイバ増幅器のみの構成で観測されたアイダイアグラムとパルス中心での強度のヒストグラムを示す。図4(2)は、本実施形態の低雑音光増幅装置を用いて観測されたアイダイアグラムとパルス中心での強度のヒストグラムを示す。 $\sigma$ は雑音の標準偏差である。両者を比較すると、本実施形態の構成で雑音低減処理を行うことにより、光パルス信号の強度揺らぎが大幅に改善されることがわかる。

【0021】図5は、本実施形態の低雑音光増幅装置におけるビット誤り率特性を示す。比較のために光ファイバ増幅器だけを用いた場合のビット誤り率特性も示す。本実施形態の構成で雑音低減処理を行うことにより、ビット誤り率特性における受信感度も大幅に改善され、誤り率 $10^{-9}$ における受信感度が4.5dB程度改善されることがわかる。このように、本発明の低雑音光増幅装置は光送信器における雑音低減に極めて有効であり、例えば複数のチャネルを個別に変調したものを合波する場合に、各チャネルレベルのばらつきを揃える手段としても有効である。

【0022】また、光ファイバ増幅器中で発生する信号光-ASE光間のビート雑音の低減にも有効である。図6は、本実施形態の低雑音光増幅装置を光中継器として光送信器と光受信器との間に挿入した場合のビット誤り率特性を示す。比較のために光ファイバ増幅器だけを光中継器として用いた場合のビット誤り率特性も示す。ここでは入力光パルス信号の平均パワーレベルを-30dBmとした。このような小さな入力レベルでは信号光-ASE光間のビート雑音が無視できなくなり、図6に示すように光ファイバ増幅器だけでは十分なS/N比を確保できず、 $10^{-11}$ 程度のビット誤り率で誤り率特性にフロアを生じてしまう。一方、本実施形態の低雑音光増幅装置を用いることにより、信号光-ASE光間のビート雑音が有効に低減されるので、図6に示すようにフロアのない誤り率特性が得られ、誤り率 $10^{-9}$ における受信感度が3.5dB程度改善できた。

【0023】また、光ファイバ増幅器を光受信器のプリアンプとして用いたところ受信感度が最高で-32.5dBmであったが、本実施形態の低雑音光増幅装置を用いたところ-34dBmの受信感度が得られ、受信感度を-1.5dB程度改善できた。このように、本実施形態の低雑音光増幅装置は、光送信器、光中継器、光受信器等で発生する強度雑音を有効に低減することができる。

【0024】なお、図3に示す本実施形態の構成において、光カプラ23を異常分散光ファイバ21の出力側に配置し、異常分散光ファイバ21の出射パワーをモニタする構成としてもよい。また、光カプラ23をバンドパスフィルタ22の出力側に配置し、バンドパスフィルタ22の出射パワーをモニタする構成としてもよい。

【0025】また、本実施形態では、異常分散光ファイバ21の入射ピークパワーを制御するために光ファイバ増幅器10の利得を調整する構成になっているが、光ファイバ増幅器10と異常分散光ファイバ21との間に光増幅器または光減衰器を備え、そこで入射ピークパワーを調整するようにしてもよい。また、光ファイバ増幅器10を構成するエルビウム添加光ファイバ11、励起レーザ12、光合波器13を複数段備え、その一部を利得可変の光増幅器として用いてもよい。

【0026】また、本実施形態では、エルビウム添加光ファイバ11を用いて1.55 $\mu$ m帯の光パルス信号を増幅する場合の構成を示したが、例えば1.3 $\mu$ m帯の光パルス信号を増幅する場合にはプラセオジム添加光ファイバを用いるなど、増幅波長帯に合わせた希土類添加光ファイバを用いることにより、それぞれの増幅波長帯に対応する低雑音光増幅装置を構成することができる。

【0027】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の低雑音光増幅装置は、光ファイバ増幅器で発生する雑音成分を簡単な構成で抑圧することができるので、低パワーでの光伝送、または長距離の光伝送を可能にすることができる。また、低パワーの光伝送が可能になるので、波長多重や時間多重等の多重技術を併用することにより、同時に伝送可能なチャネル数を増やして大容量の光通信を実現することができる。

【0028】また、本発明の低雑音光増幅装置は、光ファイバの非線形光学効果を利用して雑音低減を図っているので、実質的に動作速度の制限を受けず極めて高速に動作するので、電気回路では直接処理が困難な高速の光通信システムにも適用することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の低雑音光増幅装置の基本構成および動作原理を説明する図。

【図2】異常分散光ファイバにおける光パルススペクトルの変化例を示す図。

【図3】本発明の低雑音光増幅装置の実施形態を示す図。

【図4】本発明の低雑音光増幅装置の動作例を示す図。

【図5】本発明の低雑音光増幅装置の動作例を示す図。

【図6】本発明の低雑音光増幅装置の動作例を示す図。

【図7】従来の光識別再生回路の構成例を示す図。

【符号の説明】

10 光ファイバ増幅器

11 エルビウム添加光ファイバ

12 励起レーザ

13 光合波器

14 光アイソレータ

21 異常分散光ファイバ

22 バンドパスフィルタ

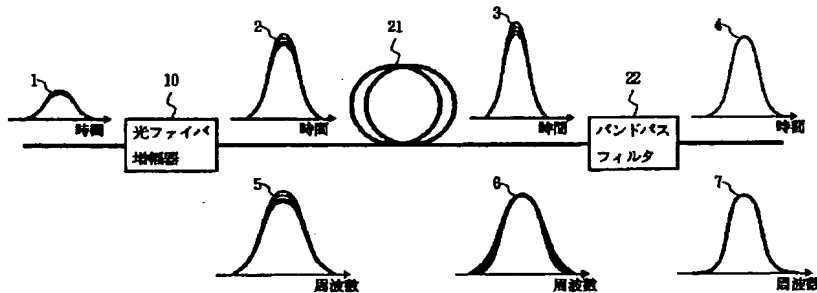
23 光カプラ

24 光検出器

25 励起レーザ制御回路

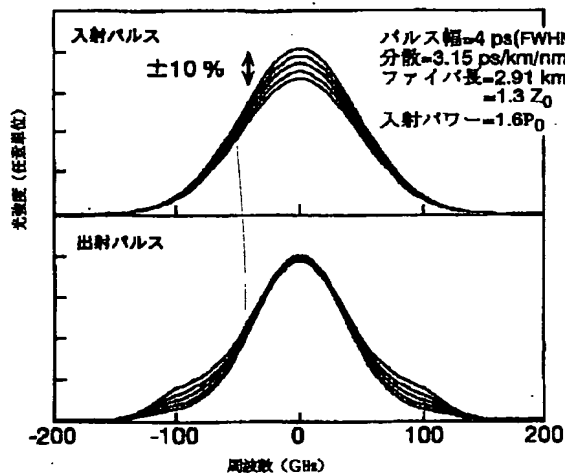
【図1】

本発明の低雑音光増幅装置の基本構成および動作原理



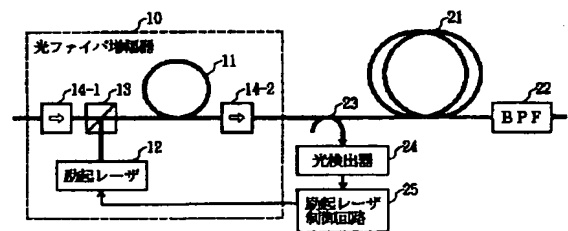
【図2】

異常分散光ファイバにおける光パルススペクトルの変化例



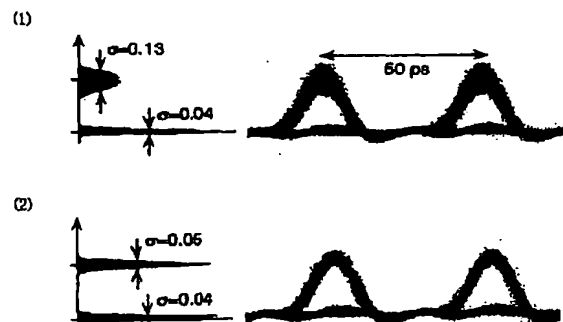
【図3】

本発明の低雑音光増幅装置の実施形態

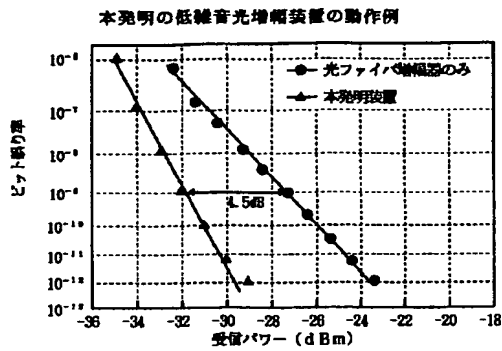


【図4】

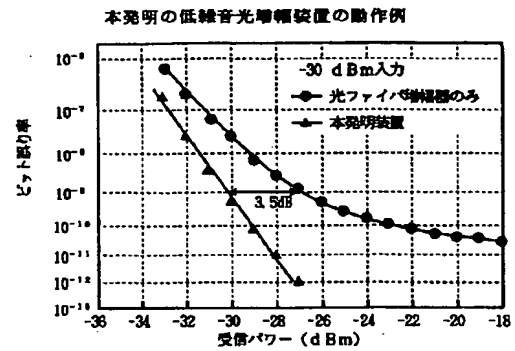
本発明の低雑音光増幅装置の動作例



【図 5】

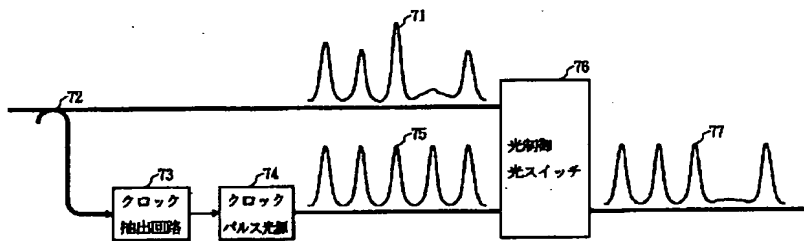


【図 6】



【図 7】

従来の光識別再生回路の構成例



フロントページの続き

(72)発明者 山林 由明  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 萩本 和男  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

BEST AVAILABLE COPY